Всероссийская олимпиада школьников по физике

заключительный этап

Т10 – 56

заполнять печатными буквами!!!

Мельников
Фамилия

Владимир
Имя

Александрович
Отчество

+7915 482 4464
Номер вашего мобильного телефона

1. Пишите только с одной стороны листа.
2. Не мните, не сгибайте, не рвите листы.
3. Нумеруйте листы (например, «лист 5 из 8»).

Это лист № 0

Томск, 2019

1	2	3	4	5

ШИФР T10-56

V 3.0

Задача №1 **Проверяющий** Андреев Я.А.

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Показано, что в момент времени τ первая шайба движется по окружности радиуса L относительно второй	1		
2	Второй закон Ньютона в момент времени τ для первой шайбы (для проекции на стержень)	1		
3	Найдена угловая скорость стержня в момент времени τ $\omega = \sqrt{\frac{Fcos(\alpha)}{Lm_1}}$.	1		
4	Записаны верные исходные уравнения, позволяющие найти β	2		
5	Значение $\beta = \frac{Fsin(\alpha)}{Lm_1}$.	1		
6	Записано верное уравнение для поиска τ ($\omega = \beta\tau$)	1		
7	Значение $\tau = \sqrt{\frac{Lm_1 cos(\alpha)}{Fsin^2(\alpha)}}$	1		
8	Записано верное уравнение для поиска φ ($\varphi = \beta t^2/2$)	1		
9	Значение $\varphi = \frac{ctg(\alpha)}{2}$	1		
	ИТОГО	10	10	

Задача №2 **Проверяющий** Александров

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Условие на координаты частиц из постоянства расстояний между ними $x^2 + y^2 = R^2$	1	1	
2	Связь скоростей частиц через закон сохранения энергии $v_x^2 + v_y^2 = const$	1	1	
3	Второй закон Ньютона для шариков в проекциях на оси $a_x = -kq^2x/mR^3$ и $a_y = -kq^2y/mR^3$	1+1	2	
4	Доказательство возможности движения, описанного в условии	3	3	
5	Метод, позволяющий получить решение.	2	2	
6	Правильный ответ $kq^2/(2R)$	1	1	
	ИТОГО	10	10	

40

ШИФР T10-56 **V 3.0**

Задача №3 **Проверяющий** Пикалов

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Верно указаны изохорический и изобарический процессы	1	1	
2	Показано как выглядит процесс с теплоемкостью 2R ($P \sim V$)	2	2	
3	Сделан вывод о том, что по оси абсцисс может быть отложен объем	1	1	
4	Записаны верные уравнения для поиска КПД в 1 случае	1	1	
5	Найден КПД 1/9	0,5	0	
6	Сделан вывод о том, что по оси абсцисс может быть отложена плотность	1	1	
7	Записаны верные уравнения для поиска КПД во 2 случае	1	1	
8	Найден КПД 1/8	0,5	0	
9	Показано, что не могут быть отложены Т или Р	1	1	
10	Получен правильный ответ (при условии рассмотрения всех случаев)	1	0	

8

Задача №4 **Проверяющий** Яковлев З.А.

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Потенциал вершины равностороннего треугольника со стороной a равен $\frac{\varphi_2}{2}$	1		
2	Указано, что при масштабировании пластины потенциал изменяется кратно.	2		
3	Предыдущее утверждение доказано	1		
4	$\varphi_C = \varphi_2$	1		
5	Идея разбиения пластины на треугольники (ромб и треугольники)	1		
6	$\varphi_D = \varphi_1 + \varphi_2$	1		
7	$\varphi'_D = \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{2}$	1		
8	$\varphi'_C = \frac{3}{2}\varphi_2 - \varphi_1$	2		

10

Задача №5 **Проверяющий** Вин...

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	$I_1 = I/4$	1	1	
2	$I_{BC} = I_{CE} = I_{FC}$	1	1	
3	$I_2 < \frac{3}{40}I$ или более строгая оценка (если $I_2 < I/8$, то 1 балл)	3	0	
4	$I_2 > \frac{I}{16}$	3	0	
5	Получена правильная оценка с требуемой точностью	2	0	

Если при оценке записано равенство вместо неравенства, то баллы за соответствующий пункт умножаются на 0,5

2

Шифр: П10-56

Задача 1. лист 1 из 12

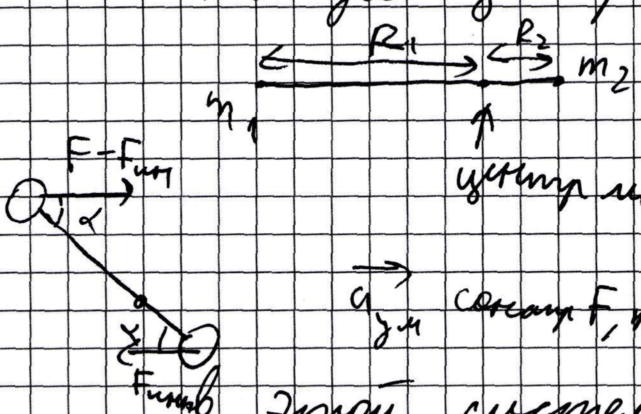
перейдем в систему отсчета с О в центре масс, но не вращающуюся, тогда

$\beta J = M$

β — угл. ускор; J — момент инерции; M — момент силы

$J = m_1R_1^2 + mR_2^2 = L^2 \frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}$

найдем центр масс



$R_1 m_1 = R_2 m_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow R_2 = R_1 \frac{m_1}{m_2} \Rightarrow$

$\Rightarrow L = R_1 + R_2 = R_1\left(\frac{m_1+m_2}{m_2}\right) \Rightarrow$

$\Rightarrow R_1 = \frac{L m_2}{m_1+m_2}$

$\vec{a}_{цм}$ сонапр F, ускорение движ. центра масс

Этой системе отсчета сумма моментов сил инерции $=0$, т.к

$|M_{Fин2}| = (a_{ц.м} \cdot m_2) R_2 \sin\alpha = a_{цм} \frac{L\, m_1 m_2 \sin\alpha}{m_1+m_2} = a_{цм} \cdot m_1 \cdot R_1 \sin\alpha = |M_{Fин1}|$

ускор ц.м. в лаб. сист. отсч.

$\Rightarrow \beta J = F R_1 \sin\alpha \Rightarrow$

$\Rightarrow \beta = \frac{F \sin\alpha \cdot \frac{L m_2}{m_1+m_2}}{L^2 \frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}} = \frac{F \sin\alpha}{L m_1}$

+

(Σ моментов сил упр-ти шеста $=0$, т.к на него действуют обратные силы ~~действуют~~ $\Rightarrow$ т.к. его $J=0$, его $M=0$)

Шифр: T10-56

продолжим работать в той же системе отсчета.

$\vec{F}_{ин}$ $\vec{a}_{инерции} = -\frac{\vec{F}}{m_1+m_2}$ по т о движ. центра масс

в момент τ сумма сил, действующих на вторую шайбу вдоль стержня $= m_2 \cdot w^2 R_2 \Rightarrow$ т.к. движ. по окр-ти

$$\Rightarrow F_{ин\,2} \cdot \cos\alpha = m_2 w^2 R_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{F}{m_1+m_2} m_2 \cos\alpha = m_2 w^2 \frac{L\, m_1}{m_1+m_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow w^2 = \frac{F\cos\alpha}{m_1 L} \Rightarrow w = \sqrt{\frac{F\cos\alpha}{m_1 L}} \Rightarrow$$

+

$$\Rightarrow \tau = \frac{w}{\beta} = \sqrt{\frac{F\cos\alpha}{m_1 L}} \cdot \frac{m_1 L}{F\sin\alpha} =$$

$$= \sqrt{\frac{m_1 L}{F\,tg\alpha\,\sin\alpha}} \Rightarrow$$

+

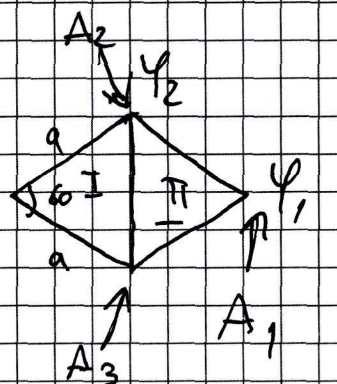
$$\Rightarrow \Delta\varphi = \frac{\beta t^2}{2} = \frac{w}{2} t = \frac{w^2}{2\beta} = \frac{\cos\alpha}{2\sin\alpha} =$$

$$= \frac{ctg\alpha}{2}$$

+

Шифр: Т10-56

Задача 4 лист 3 из 12



разобьем ромб на 2 ~~треуг.~~ прав. треугольника со сторонами a

треуг. I и треуг. II
Обозн: ΔI Обозн: ΔII

заметим, что $\varphi_2 = \varphi_{2I} + \varphi_{2II}$

потенциал, создаваемый ΔI в точке A_2 ; потенциал, создаваемый ΔII в точке A_2

в силу симметрии ~~ромба~~ этих 2х треуг. (ΔI и ΔII) относительно оси A_2A_3,

$\varphi_{2I} = \varphi_{2II} = \frac{\varphi_2}{2}$ $\Rightarrow$ прав треугольник со стороной a и поверхностной пл-ю заряда σ создает потенциал $\frac{\varphi_2}{2}$ в своей вершине $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ т.к. $\varphi = \sum \frac{k \Delta q}{r_{\Delta q}}$

сумма потенц., созд маленькими зарядами

потенциал в верш прав треугольника со стор. a и пов-й пл-ю 4σ ~~создает потенциал~~ $= 4 \cdot \frac{\varphi_2}{2} = 2\varphi_2$

(каждый $\Delta q \to 4\Delta q$)

теперь каждый маленький заряд прикрепим к точке, где он находится и сделаем гомотетию с коэф 2 относительно точки

Шифр: Т10-56

лист 4 из 12

тогда все C_{bq} V_{bq} увеличатся в 2 раза (в 2^2 раз) (а S уменьш в 2^2 раз т.е в 4) => потенциал в верш прав треуг.

со стор $2a$ и пов. пл-ю заряда $\frac{4\sigma}{4}$

$= \varphi_2$

Ответ на ч.1 : $\varphi_c = \varphi_2$

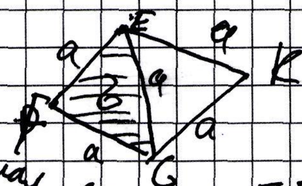
$$\varphi_1 = \varphi_{1I} + \varphi_{1II} \Rightarrow \varphi_{1I} = \varphi_1 - \frac{\varphi_2}{2}$$

$\varphi_{2II} = \frac{\varphi_2}{2}$

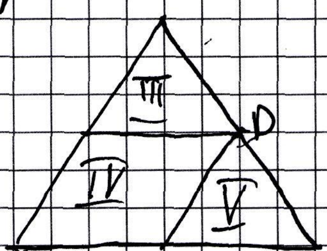
потенц., создаваемый ΔI в точке A_1

потенц., создаваемый ΔII в точке A_2

потенциал в точке $K = \varphi_1 - \frac{\varphi_2}{2}$, созд. $\Delta FEGB$



разобьем ΔABC на 3 части: ромб и 2 прав. тр-ка



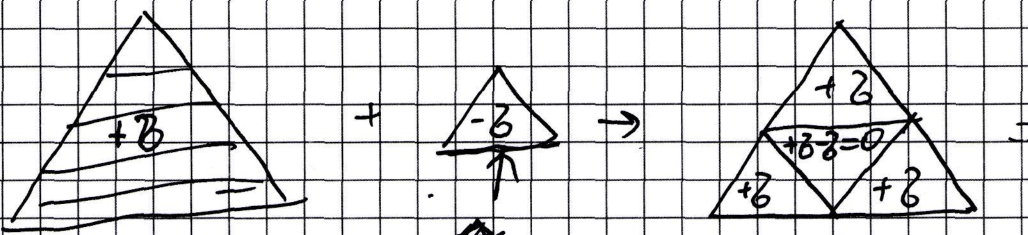
$$\varphi_D = \varphi_{III\,D} + \varphi_{IV\,D} + \varphi_{V\,D} = \frac{\varphi_2}{2} + \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{2}$$

из предыдущих

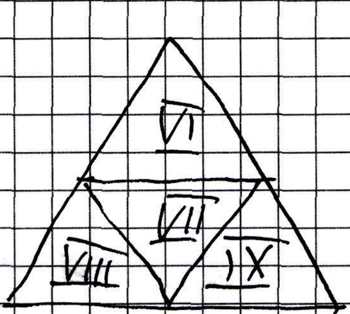
Ответ на ч.2 : $\varphi_D = \varphi_1 + \varphi_2$

Шифр: Т10-56

представим "дырявую" пластинку как сумму треуг. со стор. 2a и пов. пл-ю заряда σ и треуг. со стор a и пов. пл-ю заряда $-\sigma$



Этот треуг. назовем $-\sigma$ треуг (обозн $\Delta_{-\sigma}$)



$$\Rightarrow \varphi_{D'} = \varphi_{ABC\to D'} + \varphi_{\Delta_{-\sigma}\to D'} =$$

$$= \varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_{I2} = \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{2}$$

т.к $\sigma \to -\sigma$

$\varphi_{\Delta NM \to X}$ — потенц. треуг. ΔNM в точке X ($\forall \Delta NM$ и $\forall X$) ([illegible])

Ответ на ч. 3: $\varphi_1 + \frac{\varphi_2}{2}$

$$\varphi_{C'} = \varphi_{ABC\to C'} + \varphi_{\Delta_{-\sigma}\to C'} = \varphi_2 - \varphi_{FEG\to K} =$$

т.к $\sigma \to -\sigma$

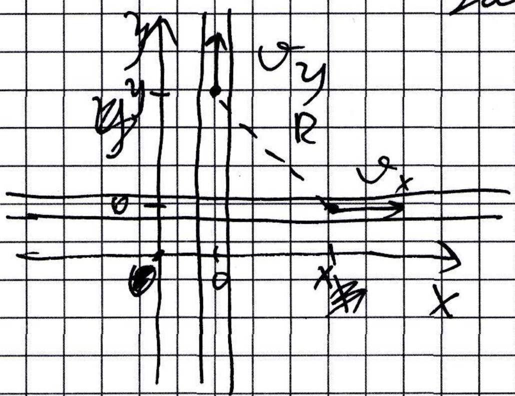
$$= \varphi_2 - \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{2} = \frac{3}{2}\varphi_2 - \varphi_1$$

Ответ на ч.1: $\frac{3}{2}\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_{C'}$

Шифр: ТЮ-56

Задача 2 лист 6 из 12

Сп.



$R = const \Rightarrow \dot{R} = 0 \Rightarrow (x^2+y^2)^{\cdot} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow 2x\dot{x} + 2y\dot{y} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow x v_x = -y v_y \Rightarrow v_y = -v_x \frac{x}{y}$

т.к $R = const \Rightarrow$ потенц. энергия не изменяется $\Rightarrow$ кинетическая энергия не изменяется

$\frac{m v_x^2}{2} + \frac{m v_y^2}{2} = const^{E} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_x^2 + v_y^2 = \frac{2E}{m}$

$v_x^2\left(1 + \left(\frac{x}{y}\right)^2\right) = \frac{2E}{m}$

$v_x^2 \frac{R^2}{R^2-x^2} = v_x^2 \frac{R^2}{y^2} = \frac{2E}{m} \Rightarrow \left(v_x^2 \frac{R^2}{R^2-x^2}\right)^{\cdot} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow 2\dot{v}_x v_x \frac{R^2}{R^2-x^2} + 2 v_x^{2} \cdot R^2 \frac{v_x x}{(R^2-x^2)^2} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \cancel{\dot{v}_x = \ldots} \quad \dot{v}_x = -\frac{x v_x^2}{R^2-x^2}$

$\dot{v}_x = a_x = \frac{F_x}{m} = \frac{\left(-\frac{kq^2}{R^2}\right)\cdot\frac{x}{R}}{m} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_x^2 \cdot \frac{x}{R^2-x^2} = \frac{kq^2 x}{R^3 m} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_x^2 = \frac{kq^2(R^2-x^2)}{mR^3} \Rightarrow$ подставим $x=0$

если $x=0$, то $\vartheta_x = \vartheta_0$, $\Rightarrow$

$$\Rightarrow 0 = -\underbrace{y}_{\neq 0 \Rightarrow}\underbrace{\vartheta_y}_{= 0} \Rightarrow \vartheta_y = 0 \Rightarrow$$

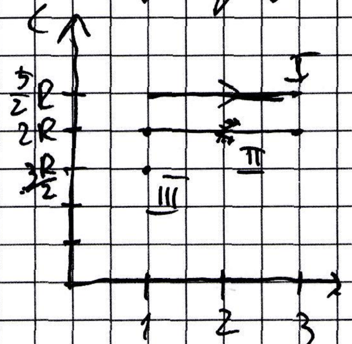
$$\Rightarrow E = \frac{m\vartheta_0^2}{2} = \frac{kq^2}{2R}.$$

Шифр: Т10-56

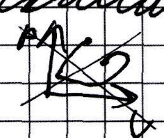
лист 8 из 12

№3

пронумеруем процессы.



заметим, что все возможные величины отложенные на оси абсцисс не могут измениться мгновенно (так, что между 2-мя точками нет процесса)



=> после процесса I идет процесс 2, заметим, что если идти по некоторым процессам, а потом по ним же обратно, то КПД такой части цикла = 0 => если пропустить ее (это возм., т.к конечная и начальная точки такой части цикла совп.), то КПД не уменьшится =>

=> т.к процесс III тоже есть, => цикл выглядит, как → I → II → III → I → ⋯ → I → II → III

Шифр: 710-56

лист 9 из 12

4

тогда

$C_\mu = \frac{5}{2}R \Rightarrow$ изобара $\quad$ + $\quad pV = \nu RT$

$C_\mu = \frac{3}{2}R \Rightarrow$ изохора

$$C_\mu = \frac{dQ}{\nu dT} = \frac{dU + \delta A}{\nu dT} = \frac{i}{2}R + \frac{\delta A}{\nu dT}$$

$C_\mu = 2 = const \Rightarrow pV^n = K = const \Rightarrow p = \frac{K}{V^n}$

$$dT = d\left(\frac{pV}{\nu R}\right) = d\left(\frac{K}{\nu R} V^{1-n}\right) = \frac{K}{\nu R} d\left(V^{1-n}\right) =$$

$$= \frac{K}{\nu R}(1-n) \cdot V^{-n} dV \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\delta A}{\nu dT} = \frac{p\,dV}{\nu dT} = \frac{p\,dV}{\cancel{\nu}\frac{K}{\cancel{\nu}R}(1-n)V^{-n}dV} = R\frac{1}{1-n} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_\mu = \frac{i}{2}R + \frac{1}{1-n}R = 2R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{3}{2} + \frac{1}{1-n} = 2 \Rightarrow \frac{1}{1-n} = \frac{1}{2} \Rightarrow n = -1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{p}{V} = const \quad +$$

назовем ~~но~~ величину отлож. на оси абсцисс $- \varepsilon \Rightarrow$

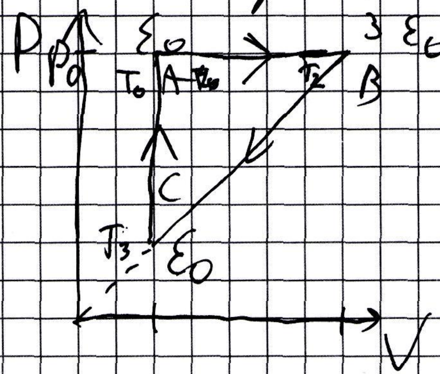
$\Rightarrow$ в т. с абсциссой $1 \to \varepsilon_0$,

в т. с абсциссой $2 \to 2\varepsilon_0$,

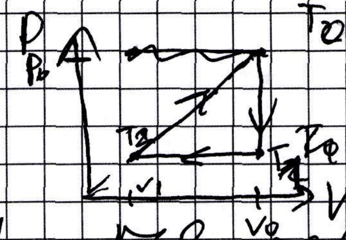
в т. с абсциссой $3 \to 3\varepsilon_0$

Шифр: Т10-56

$\Rightarrow$ график этого ~~иного~~ цикла выглядит так:



или так



$\Rightarrow$ т.к A — не совп. с C, что в процессе C→A

1) $\varepsilon = \cancel{p}V$ $\qquad pV=\nu RT$

2) $\varepsilon = p$ $\qquad pV=\nu RT = const \Rightarrow T - const \Rightarrow$ C→A не сущ. ($V - const$, $P - const$)

3) $\varepsilon = T$ $\qquad \frac{V}{T} = \frac{\nu R}{P} = const \Rightarrow p - const \Rightarrow$ C→A не сущ ($V - const$, $T - const$)

4) $\varepsilon = \rho$ $\qquad pV=\nu RT \Rightarrow pM = \rho RT \Rightarrow \frac{p}{T} = const \Rightarrow$

$\Rightarrow$ ~~отп~~ $\varepsilon = \rho$ или $\varepsilon = V$, ~~однако~~

Пусть $V - \varepsilon \Rightarrow$ $\cancel{\eta = \frac{(3V_0 - V_0)\frac{2}{3}p_0}{2} = \frac{2}{3}V_0 p_0}$

$$A = \frac{(3V_0 - V_0)\frac{2}{3}p_0}{2} = \frac{2}{3}V_0p_0 = \frac{2}{3}\nu RT_0$$

$$Q_{нагр} = \nu R(T_2 - T_3) + 2p_0V_0 = \nu R\left(3T_0 - \frac{T_0}{3}\right) + 2p_0V_0 =$$

$T_3 = \frac{T_0}{3}$ аналогично $T_2 = 3T_0$, т.к $p_A = p_0 = p_B$, $3V_A = V_B$

$$= 2\tfrac{2}{3}\nu RT_0 + 2p_0V_0 = 4\tfrac{2}{3}p_0V_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta_V = \frac{\frac{2}{3}}{4\frac{2}{3}} = \frac{2}{14} = \frac{1}{7}$$ −

Шифр: ТЮ-56

Т.е. $= \rho \Rightarrow$

$\cancel{A \Rightarrow}\ V_1 = \frac{V_0}{3}$, $\cancel{m, \rho = const}$ $\rho \to 3\rho$, т.к. $\frac{\mu \nu}{V} \to \frac{3\mu\nu}{3V}$

$A = \frac{\frac{2}{3}V_0 \cdot \frac{2}{3}p_0}{2} = \frac{2}{9}V_0 p_0$ ← пл-дь тр-ка

$Q_{нагр} = \nu R(T_0 - T_2) + (V_0 - V_1) \cdot \frac{\frac{p_0}{3} + p_0}{2} =$ ← пл-дь трапеции

T_0 — о И; V_1 — о А

$= \nu R\left(T_0 - \frac{T_0}{3 \cdot 3}\right) + \cancel{V_0 - V_1}\ \frac{2}{3}V_0\ \frac{2}{3}p_0 =$

т.к. $p_0 \to p_0/3$, $V_0 \to V_0/3$

$= \frac{8}{9}\nu R T_0 + \frac{4}{9}\cancel{\nu R T_0}^{\,p_0 V_0} = \frac{12}{9}p_0 V_0$

$\eta_\rho = \frac{A}{Q_{нагр}} = \frac{\frac{2}{9}}{\frac{12}{9}} = \frac{2}{12} = \frac{1}{6} > \frac{1}{7} = \eta_V$

Ответ: $\eta_\rho = 16,7\ \%$

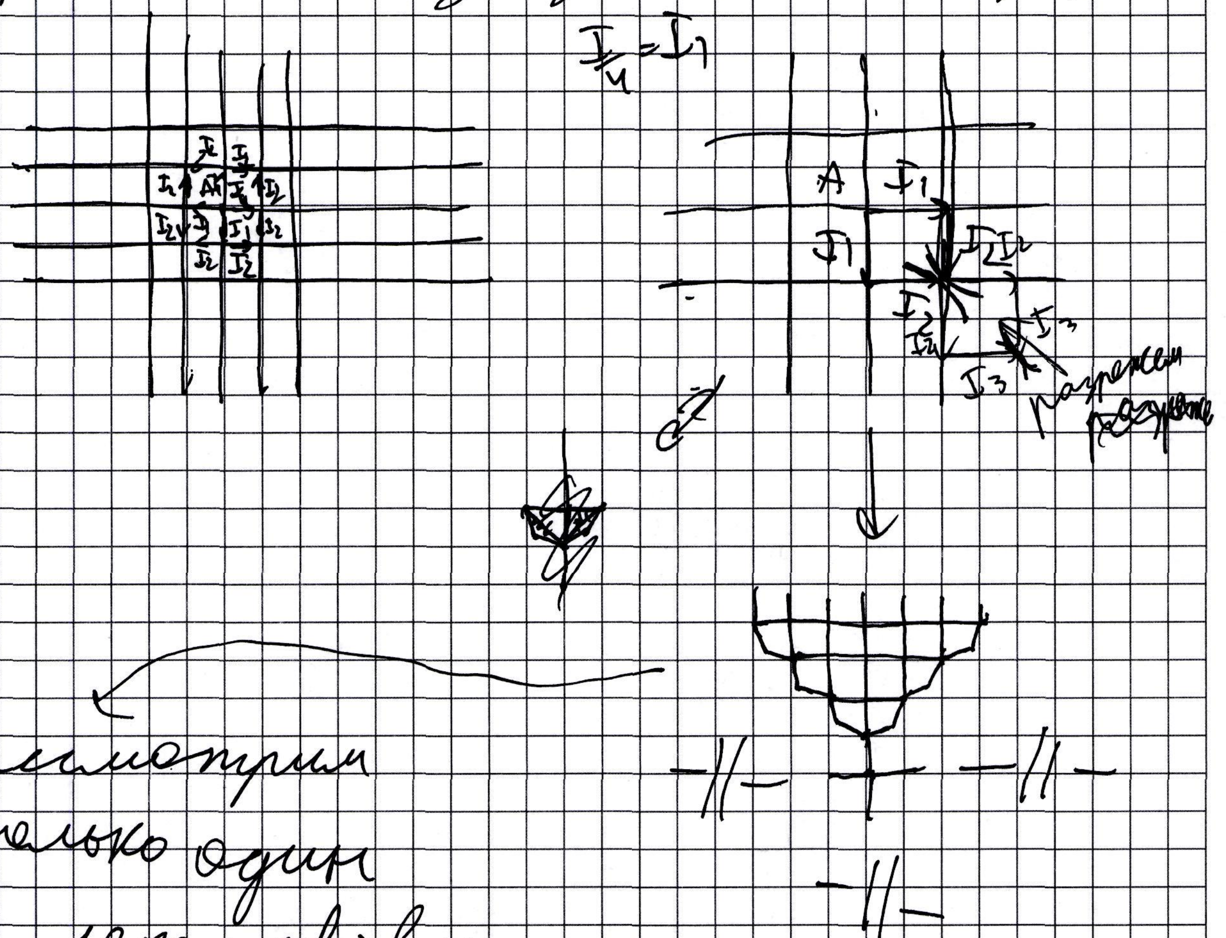
Шифр: Т10-56

№5

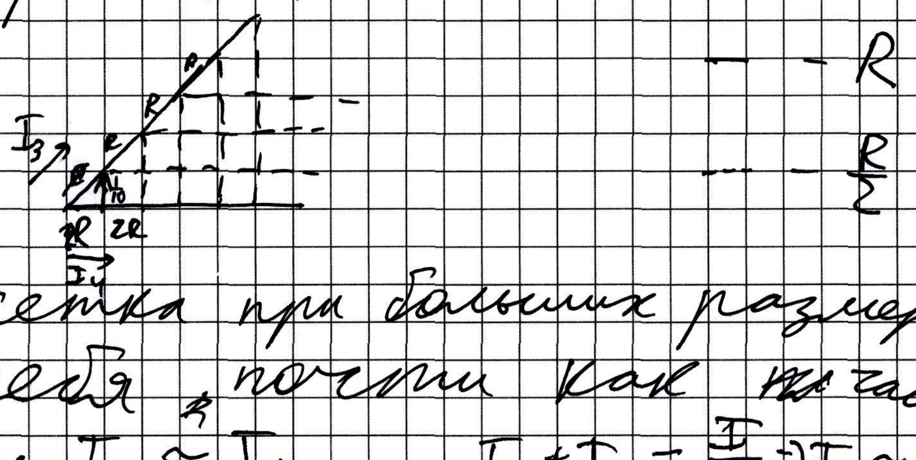
~~заметим, что такое~~

заметим в схеме токи равные из-за симметрии

$\frac{I}{4} = I_1$



рассмотрим только один из лепестков; в силу симметрии сложим его пополам



? (т.к сетка при больших размерах ведет себя почти как ~~из~~ часть пл-ти, $I_3 \approx I_4$, $I_3 + I_4 = \frac{I}{4} \Rightarrow I_3 \approx \frac{I}{8}$

$I_3 = 2I_2 \Rightarrow I_2 \approx \frac{I}{16}$